

516,955

10/516955

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Dezember 2003 (18.12.2003)

PCT

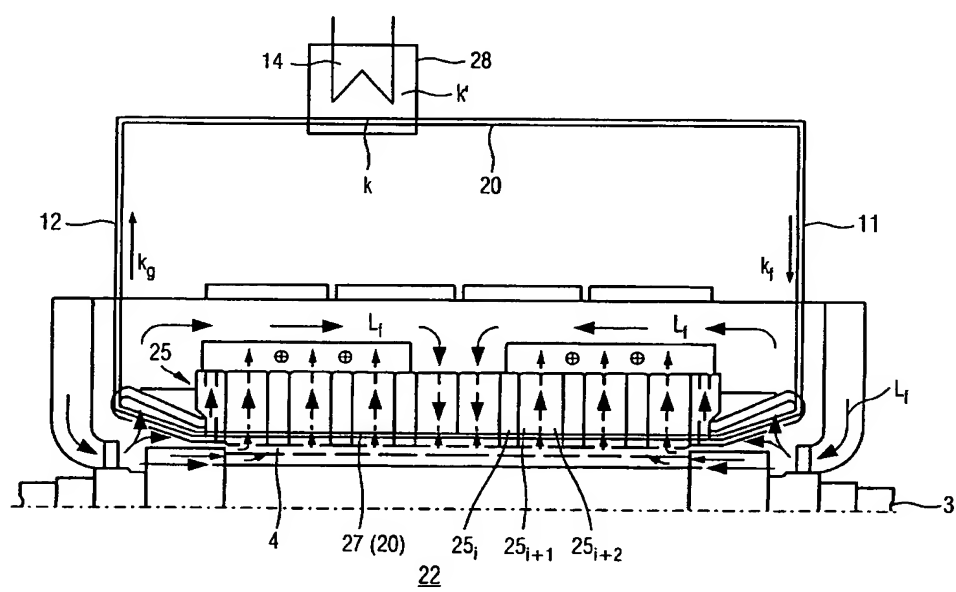
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/105316 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H02K 9/19, F28D 15/02
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01705
- (22) Internationales Anmeldedatum: 26. Mai 2003 (26.05.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 25 224.6 6. Juni 2002 (06.06.2002) DE  
103 17 967.4 17. April 2003 (17.04.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HUBER, Norbert [DE/DE]; Taunusstr. 88 A, 91056 Erlangen (DE). GRO-MOLL, Bernd [DE/DE]; Egerlandstr. 34k, 91083 Baiersdorf (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRIC MOTOR COMPRISING A STATOR COOLING UNIT

(54) Bezeichnung: ELEKTRISCHE MASCHINE MIT STATORKÜHLUNG



(57) Abstract: The invention relates to an electric motor (22) comprising a fixed stator (25) which is arranged around a rotatably mounted rotor (3). Said electric motor comprises at least one cooling unit (14) to which parts (25i) of the stator (25) which are to be cooled are thermally coupled by means of a line system (20) in which a cooling agent (k, kf, kg) circulates according to a thermosyphon effect. The stator parts to be cooled can be arranged in the inner region of a stator housing which is integrated into the line system. The inventive electric motor can be provided with a heating device in order to maintain the pressure in said inner region when the motor is stopped.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/105316 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht

- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**(57) Zusammenfassung:** Die elektrische Maschine (22) enthält einen ortsfesten Stator (25) um einen drehbar gelagerten Rotor (3). Es ist wenigstens eine Kälteeinheit (14) vorgesehen, an die zu kühlende Teile (25i) des Stators (25) über ein Leitungssystem (20) thermisch angekoppelt sind, in dem eine Zirkulation eines Kältemittels (k, kf, kg) nach einem Thermosyphon-Effekt erfolgt. Die zu kühlenden Statorteile können im Innenraum eines Statorgehäuses angeordnet sein, der in das Leitungssystem integriert ist. Zur Aufrechterhaltung des Drucks im Innenraum bei Betriebsstillstand kann eine Heizungsanordnung vorgesehen sein.

## Beschreibung

## Elektrische Maschine mit Statorkühlung

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf eine elektrische Maschine mit
- einem drehbar gelagerten Rotor,
  - einem zugeordneten, ortsfesten Stator
- sowie
- einer Einrichtung zur Kühlung zumindest des Stators oder
- 10 Teilen von diesem.

Eine entsprechende Maschine ist der EP 0 853 370 A1 zu entnehmen.

- Im Stator von Maschinen bzw. Motoren insbesondere mit höherer
- 15 Leistung kann eine erhebliche Wärme entwickelt werden, die im Hinblick auf eine höhere Maschineneffizienz mittels kühltechnischer Maßnahmen abzuführen ist. So sind z.B. luftgekühlte Generatoren (insbesondere mit Leistungen unter 300 MVA) bekannt, bei denen eine Kühlung durch einen vergleichsweise
- 20 großen Luftstrom erfolgt, der durch ein Netzwerk feiner Kanäle geleitet wird (vgl. die eingangs genannte EP-A1-Schrift). Dabei trägt jedoch der Luftstrom selbst in Folge von Reibungsverlusten in den Kanälen in erheblichem Maße zu einer unerwünschten Wärmeentwicklung bei.

25

- Für größere Maschinen wie z.B. Generatoren ist auch eine Kühlung von Stator und Rotor mit  $H_2$ -Gas bekannt (vgl. z.B. „Proceedings of the American Power Conference“, Vol. 39, Chicago 1977, Seiten 255 bis 269), das in einem gekapselten Gehäuse
- 30 umgewälzt wird. Dabei sind nicht nur aufwendige Abdichtungsmaßnahmen erforderlich, sondern auch umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen zu berücksichtigen.

- Außerdem sind auch wassergekühlte Generatoren Standard, bei
- 35 denen das Wasser in Kanälen zirkuliert, die sich insbesondere durch die sogenannten Ständerstäbe (bzw. Ständerblechpakete) erstrecken. Hierzu ist ein Einsatz von Pumpen erforderlich.

Außerdem muss das Wasser aus Korrosionsschutzgründen konditioniert werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, die Maschine mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, dass eine effektive Kühlung mit verhältnismäßig geringem Aufwand ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Dementsprechend soll die Kühleinrichtung der Maschine wenigstens eine Kaltfläche einer Kälteeinheit aufweisen, an die zu kühlende Teile des Stators über ein Leitungssystem thermisch angekoppelt sind, in dem eine Zirkulation eines Kältemittels nach einem Thermosyphon-Effekt vorgesehen ist oder erfolgt.

Ein derartiges Leitungssystem weist wenigstens eine geschlossene Rohrleitung auf, die zwischen der Kaltfläche einer Kälteeinheit und den zu kühlenden Teilen des Stators mit einem Gefälle verläuft. Das in diesem Leitungssystem befindliche Kältemittel rekondensiert dabei an der Kaltfläche der Kälteeinheit und gelangt von dort in den Bereich der zu kühlenden Statorteile, wo es sich erwärmt und dabei im Allgemeinen verdampft. Das so meistens verdampfte Kältemittel strömt dann innerhalb des Leitungssystems wieder zurück in den Bereich der Kaltfläche der Kälteeinheit. Die entsprechende Zirkulation des Kältemittels erfolgt demnach auf Grund eines sogenannten „Thermosyphon-Effektes“ in einem Naturumlauf mit Sieden und Verdampfen. Gemäß der Erfindung ist also dieses an sich bekannte Prinzip auf die Kühlung von Statorteilen von Leistungselektromaschinen angewandt.

Gegenüber luftgekühlten Maschinen wird durch teilweise direkte Wärmeabfuhr am Entstehungsort der Wärmeverluste über Thermosyphons eine Reduzierung des Luftvolumenstroms ermöglicht. Damit wird eine Senkung der durch den Luftstrom erzeugten Wärmeentwicklung erreicht, die eine weitere Reduzierung des

Luftvolumenstromes ermöglicht. Es ergibt sich so eine höhere Maschineneffizienz und Einsparungen bei Produktionskosten insbesondere bei der Wicklung und beim Blechpaket des Stators.

5

Bei einer kompletten Kühlung des Stators durch Thermosyphons kann die Leistungsgrenze, ab derer üblicherweise eine Wasserkühlung statt einer Luftkühlung eingesetzt wird, deutlich in höhere Leistungsbereiche geschoben werden.

10

Gegenüber einer direkten Wasserkühlung von Statorwicklungen mit Zwangsumlauf bestehen folgende Vorteile:

- Keine Korrosion oder aufwendige Konditionierung des Kältemittels bei Verwendung von organischen Kältemitteln wie Butan, Propan oder Azeton.
- Wegen der Verwendung eines geschlossenen Leitungssystems besteht keine Brand- oder Explosionsgefahr.
- Außerdem ist die Kühleinrichtung wartungsfrei, enthält keine Pumpen oder andere bewegliche mechanische Teile und ist außerdem selbstregelnd.

15

20

Die mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Maschine verbundenen Vorteile sind also darin zu sehen, dass der Leistungsbereich, ab dem sich eine direkte Statorkühlung rechnet, herabgesetzt werden kann.

25

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschine gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

30

So kann die Kaltfläche in einfacher Weise an oder in einem Kondensorraum angeordnet sein, der in das Leitungssystem integriert ist.

35

Weiterhin kann vorteilhaft in das Leitungssystem wenigstens ein Kältemittelraum integriert sein, in dem zu kühlende Statorteile in großflächiger wärmeleitender Verbindung mit dem

Kältemittel stehen, zwischen dem und den zu kühlenden Statorteilen ein guter Wärmeaustausch gewährleistet ist.

5 Besonders vorteilhaft lässt sich der Innenraum eines Statorgehäuses als Kältemittelraum vorsehen, in dem zumindest ein Großteil der zu kühlenden Teile des Stators angeordnet sind. Dieser Innenraum ist folglich als ein integrierter Teil des Thermosyphon-Leitungssystems ausgebildet. Dabei sei angenommen, dass der Großteil der zu kühlenden Statorteile mehr als  
10 50 % des Volumens der sich ohne Kühlung erwärmenden Teile des Stators wie insbesondere die Wicklung und gegebenenfalls Blechpakete zur Magnetflussführung umfasst. Unter einem Statorgehäuse ist in diesem Zusammenhang das den Innenraum mit den zu kühlenden Statorteilen und dem sie kühlenden Kältemittel festlegende Gehäuse zu verstehen. Die Vorteile in dieser  
15 Ausgestaltung der Maschine sind hauptsächlich darin zu sehen, dass die wärmeerzeugenden Teile des Stators zumindest weitgehend als Wärmetauschflächen dem Kältemittel ausgesetzt sind, so dass eine entsprechend gute Wärmeaufnahme durch das Kältemittel gewährleistet wird.  
20

Vorteilhaft stehen die zu kühlenden Statorteile in dem Innenraum in großflächiger wärmeleitender Verbindung mit dem Kältemittel. Dabei können die zu kühlenden Statorteile außer einer  
25 Ständerwicklung auch Bleche eines Blechpaketes umfassen. Da im Betriebszustand in solchen Blechen ebenfalls Wärme entsteht, ist diese effektiv an das Kältemittel zu übertragen.

Ferner kann der Stator der Maschine Kühlkanäle aufweisen, die  
30 in das Leitungssystem integriert sind. Solche Kühlkanäle sind insbesondere dann für die Funktion des Thermosyphons von Vorteil, wenn der Stator senkrecht angeordnet ist (mit vertikal verlaufender Achse des Rotors), da dann entstehender Kältemitteldampf gut abströmen kann.

Außerdem kann die Kühleinrichtung zur Unterstützung der Wärmeabfuhr zusätzlich Strömungswege für eine Luftkühlung aufweisen.

5 Darüber hinaus ist es als besonders vorteilhaft anzusehen, wenn eine Heizungsvorrichtung an oder in dem Leitungssystem in einem Bereich vorgesehen ist, in dem sich das Kältemittel zumindest weitgehend im flüssigen Zustand befindet. Mit einer derartigen Heizungsvorrichtung lassen sich nämlich uner-  
10 wünschte Druckunterschiede zwischen dem mit dem Kältemittel gefüllten Statorinnenraum und dem umgebenden Außenraum bei Stillstand der Maschine (= Betriebsstillstand) vermindern oder ausgleichen. Denn bei Stillstand der Maschine fehlt nämlich weitgehend die eine Erwärmung des Kältemittels hervorru-  
15 fende Wärmeerzeugung im Stator. Die Folge davon ist, dass sich der Innenraum des Statorgehäuses wegen der über das Kältemittel nach wie vor eingebrachten Kälteleistung immer weiter abkühlt und so der Druck weit unter Umgebungsdruck absinkt. Durch einen solchen Unterdruck könnten in Verbindung  
20 mit tiefen Außentemperaturen auf Grund von Materialschrumpfungen Undichtigkeiten im Statorgehäuse entstehen, über die Luft eingesaugt werden könnte. Dies würde zu einer Verschiebung der Siedelinie des eingesetzten Kältemittels führen und so längerfristig den Thermosyphon-Kreislauf funktionsunfähig  
25 machen. Diese Gefahr ist bei Verwendung der besonderen Heizungsvorrichtung auszuschließen. Denn mit der Heizungsvorrichtung in dem angegebenen Bereich, vorzugsweise in einem stirnseitigen Bereich des Stators, ist ein Absinken des Stillstandsdruckes unter Umgebungsdruck zu verhindern. Durch  
30 die Zufuhr von Wärme verdampft das Kältemittel auch im Betriebsstillstand. Der entsprechende Dampf kondensiert dann an kalten Stellen des durch den Statorinnenraum gebildeten Teil des Thermosyphon-Leitungssystems und heizt dort so das Leitungssystem auf eine weitgehend gleichmäßige Temperatur auf.  
35 Verbunden damit ist ein Druckanstieg in dem Leitungssystem entsprechend der Siedekennlinie des verwendeten Kältemittels. Dabei kann vorteilhaft die Heizleistung über einen Drucksen-

sor so geregelt werden, dass sich ein Druck von mindestens Umgebungsdruck im Leitungssystem einstellt. Da im Betriebsstillstand praktisch keine Verlustleistung anfällt, muss die Heizungs-  
vorrichtung nur die konvektiven Verluste über das  
5 Statorgehäuse an die Umgebung ausgleichen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschine gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen abhängigen Ansprüchen hervor.

10

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der elektrischen Maschine nach der Erfindung anhand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch deren Figur 1 eine Statorkühlung mittels eines Verdampfungs-  
15 kühlers der Maschine,

deren Figur 2 eine direkte Statorkühlung mittels diskreter Kühlkanäle innerhalb eines Statorgehäuses der Maschine,

15

deren Figur 3 eine weitere Ausgestaltung der Maschine mit einem Kältemittelraum eines Statorgehäuses  
20

und

deren Figur 4 die temperaturabhängigen Druckverhältnisse in dem Kältemittel der Maschine nach Figur 3.

20

Bei der elektrischen Maschine nach der Erfindung wird von an sich bekannten Maschinen des höheren Leistungsbereiches wie z.B. von Generatoren ausgegangen. Nicht dargestellte Teile sind allgemein bekannt. In den Figuren sind nur für die Erfindung wesentlichen Teile der Maschinen ausgeführt.

30

Gemäß Figur 1 weist die Maschine 2 einen gekühlten oder ungekühlten Rotor 3 auf, der um eine Achse A drehbar gelagert ist. Der Rotor ist unter Einhaltung eines Zwischenraums 4 mit ringförmigem Querschnitt von einem Stator 5 zumindest teilweise umschlossen, von dem in der Figur nur einzelne Bleche  
35 5<sub>1</sub> eines Blechpaketes dargestellt sind. Zwischen zwei dieser scheibenförmigen Bleche 5<sub>1</sub> und 5<sub>2</sub>, die in der Figur axial

35



- auseinander gezogen dargestellt sind, ist ein scheibenförmiger Kältemittelraum 7 ausgebildet. In gewissen Abständen (in axialer Richtung gesehen) sind entsprechende Kältemittelräume in das Blechpaket integriert bzw. eingestapelt und/oder eingepresst. Auf diese Weise sind große Wärmeaustauschflächen zwischen einem in dem mindestens einen Kältemittelraum befindlichen Kältemittel k und den benachbarten Blechen des Blechpaketes 5 zu gewährleisten.
- 10 Als Kältemittel kommen je nach Erfordernis des zu wählenden Temperaturniveaus verflüssigbare Gase wie Propan, Butan, Aceton oder Neon oder in der Standardkältetechnik verwendete azeotrope Mischungen in Frage.
- 15 Konstruktiv lässt sich der wenigstens eine Kältemittelraum 7 auf folgende Weise günstig herstellen, nämlich
- durch zwei mittels Abstandshaltern separierte Bleche, die entlang der Ränder druckdicht zusammengeschweißt werden,
  - oder durch Verwendung von Elementen, die durch eingebrachte Sicken zueinander auf Distanz gehalten werden.
- 20
- Der wenigstens eine Kältemittelraum 7 ist Teil eines geschlossenen Leitungssystems 10 für das in ihm zirkulierende Kältemittel k. Das Leitungssystem enthält auf geodätisch höherem Niveau einen Kondensorraum 8, der mit dem Kältemittelraum 7 zwischen den Statorblechen 5<sub>1</sub> und 5<sub>2</sub> über eine Kältemittelzuführungsleitung 11 und eine Kältemittelrückleitung 12 verbunden ist.
- 25
- 30 Die Kälteleistung zur Kühlung des Stators wird von einer nicht näher dargestellten Kälteeinrichtung bereitgestellt, die beispielsweise wenigstens einen an ihrem kalten Ende befindlichen Kaltkopf aufweist. Ein solcher Kaltkopf besitzt eine auf einem vorbestimmten Temperaturniveau zu haltende, beliebig gestaltete Kaltfläche 14 auf oder ist mit dieser thermisch verbunden. An diese Kaltfläche sind thermisch der Innenraum der Kondensorkammer 8 und damit das Kältemittel an-
- 35

gekoppelt; beispielsweise kann die Kaltfläche 14 auch eine Wand dieses Raumes bilden.

An der Kaltfläche 14 kondensiert das Kältemittel und gelangt  
5 auf Grund des geodätischen Gefälles in flüssiger, mit  $k_f$  be-  
zeichneter Form über die Zuleitung 11 in den Kältemittelraum  
7 im Bereich des zu kühlenden Ständerblechpaketes 5. Der dort  
vorhandene Kältemittelspiegel ist mit 9 bezeichnet. Dort er-  
wärmt sich das Kältemittel, beispielsweise unter zumindest  
10 teilweiser Verdampfung, wie in der Figur durch einzelne  
Dampfblasen 9' angedeutet sein soll. Das somit gasförmige  
Kältemittel  $k_g$  strömt aus diesem Raum 7 über die Rückleitung  
12 in den Kondensorraum 8, wo es an der Kaltfläche 14 rekon-  
densiert. Ein derartiger Naturumlauf mit Sieden und Verdamp-  
15 fen bildet das Thermosyphon-Prinzip (vgl. auch  
DE 41 08 981 C2 oder DE 100 18 169 A1).

Für die in Figur 2 nur teilweise im Schnitt dargestellte  
elektrische Maschine 22 ist eine Kombination einer Luftküh-  
20 lung mit einer Thermosyphon-Kühlung ihres Stators 25 vorgese-  
hen. Die Luftzirkulation erfolgt dabei in bekannter Weise  
(vgl. z.B. die eingangs genannte EP 0 853 370 A1 oder die  
EP 0 522 210 A1) und ist durch gepfeilte Linien Lf veran-  
schaulicht. Durch das Paket der Statorbleche 25<sub>i</sub> verlaufen  
25 zusätzlich in axialer Richtung Kühlkanäle 27 eines Leitungs-  
systems 20. Diese Kühlkanäle münden stirnseitig wiederum in  
eine Kältemittelzuleitung 11 bzw. eine Kältemittelrückleitung  
12. Diese Leitungen 11 und 12 sind mit einem Kondensorraum 28  
mit Kaltfläche 14 zur Rückkühlung des in dem Leitungssystem  
30 20 unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes zirkulieren-  
den, allgemein mit  $k$  bezeichneten Kältemittels verbunden.  
Entweder münden die Leitungen 11 und 12 in diesen Raum, in  
dem dann eine Kondensation von gasförmigem Kältemittel  $k_g$  zu  
flüssigem Kältemittel  $k_f$  erfolgt. Oder aber es ist - wie für  
35 das Ausführungsbeispiel angenommen - eine indirekte Kühlung  
durch ein weiteres Kältemittel  $k'$  vorgesehen, das den Raum 28  
erfüllt. Dabei verläuft das Leitungssystem 20 durch diesen

Raum hindurch, wo ein Wärmeaustausch mit dem Kältemittel  $k'$  durch die Wand des Leitungssystems hindurch geschieht. Bei dieser Ausführungsform erfolgt also die Kühlung der Statorstäbe bzw. -bleche 25, statt mit einer Zwangsumlaufkühlung durch Wasser hier in einem geschlossenen Kreislauf mit einem thermodynamisch vorteilhaften, dem Betriebszustand ( $p_T$ ) angepassten Kältemittel  $k$ , wobei die Bleche 25, mit ihren Kühlkanälen 27 als Verdampfer dienen. Wegen der beiden getrennten Leitungen 11 und 12 wird das Thermosyphon-Leitungssystem 20 auch als „Zwei-Rohr-Thermosyphon“ bezeichnet.

Bei den an Hand der Figuren erläuterten Ausführungsbeispielen werden vorteilhaft mehrere Verdampferkühler eingesetzt, die wahlweise entweder durch einzelne Kühlkreisläufe mit dem Kondensatorraum verbunden werden oder deren Zu- und Rückleitungen als gesammelte Leitungen ausgeführt werden. Der Vorteil liegt hierin in einem kleineren Verrohrungsaufwand, wobei für eine wärmegerechte Aufteilung der Kühlmittelströme durch die einzelnen Verdampfer gesorgt werden muss. Auf Grund des hohen Wärmeübergangs beim Kondensieren werden das Bauvolumen zur Rückkühlung und damit die Kosten durch den Einsatz der Thermosyphon-Kühlung gegenüber einer Luft/Luft-Kühlung oder Luft/Wasser-Kühlung reduziert.

Abweichend von der für die Ausführungsformen nach den Figuren 1 und 2 angenommenen Bereitstellung der Kälteleistung mittels des Kaltkopfes eines Kryokühlers auf einem verhältnismäßig niedrigen Temperaturniveau kann, insbesondere wenn vergleichsweise höhere Betriebstemperaturen zuzulassen sind, eine Rückkühlung eines Kältemittels an einer Kaltfläche auch mittels Wassers oder Umgebungsluft erfolgen. Denn Voraussetzung für die Zirkulation des entsprechenden Kältemittels nach dem Thermosyphon-Effekt ist lediglich das Temperaturgefälle zwischen der Kaltfläche einer Kälteeinheit und den zu kühlenden Statorteilen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maschine mit einer besonderen Ausgestaltung des Thermosyphon-Leitungssystems ihrer Kühleinrichtung ist als Schnitt schematisch in Figur 3 veranschaulicht. Dabei zeigt diese Figur 3 im Wesentlichen nur die Ausbildung einer Kälteeinrichtung. Die allgemein mit 30 bezeichnete Maschine enthält einen Stator 31 mit einem Statorgehäuse 32, das einen nach außen abgedichteten Innenraum 33 umschließt. In diesem Innenraum soll sich zumindest ein Großteil der zu kühlenden Statorteile befinden. Dementsprechend ist in dem Innenraum 33 eine an sich bekannte Ständerwicklung 34 zusammen mit weiteren Statorteilen wie insbesondere zur Aufnahme oder Halterung der Wicklung und zu einer Magnetflussführung wie z.B. Blechpakete untergebracht. Vorteilhaft ist der Innenraum 33 als ein integrierter Teil eines Thermosyphon-Leitungssystems 35 ausgebildet, dessen Funktionsweise der Funktionsweise des an Hand von Figur 2 beschriebenen Leitungssystems 20 entspricht. Im Betriebszustand der Maschine nimmt in diesem Innenraum 33 das über eine Zuleitung 11 zugeführte flüssige Kältemittel  $k_f$  unter Verdampfung von den zu kühlenden Statorteilen erzeugte Wärme auf. Zur Verbesserung der Abfuhr des verdampften, gasförmigen Kältemittels  $k_g$ , insbesondere im Fall einer senkrechten Anordnung der Maschine bzw. deren Achse A können noch durch die zu kühlenden Statorteile Kühlkanäle oder -rohre 36 verlaufen. Dabei sind für eine senkrechte Anordnung, wie sie der Figur 3 zugrunde gelegt ist, über den Füllstand hinausragende Rohre 36 vorteilhaft, da so über sie im unteren Teil der Gehäuses entstehender Dampf gut nach oben abzuleiten ist.

Bei Stillstand der Maschine 30 fehlen die entsprechenden Wärmequellen weitgehend. Deshalb kann vorteilhaft dem Thermosyphon-Leitungssystem 35 in einem Bereich 37, in den das von einem Kondensorraum 28 kommende, flüssige Kältemittel  $k_f$  gelangt, eine elektrische Heizungs Vorrichtung 38 zugeordnet sein. Dieser Bereich 37 kann sich vorzugsweise an der Stirnseite des Stators 31 oder gegebenenfalls auch an einer Stelle der Kältemittelzuleitung 11 befinden, an der das Kältemittel

$k_f$  noch im flüssigen Zustand ist. Mit dieser Heizungs-  
vorrichtung kann das Kältemittel zusätzlich erwärmt, vorzugsweise  
verdampft werden, so dass sich dann ausgehend von dem Bereich  
37 in dem Innenraum 33 eine Druckerhöhung einstellt. D.h.,  
5 mit dieser Heizungs-  
vorrichtung kann in diesem Bereich eine  
Druckregelung erfolgen. Die Steuerung der Heizleistung für  
die Druckeinstellung erfolgt dabei mit Hilfe bekannter Mit-  
tel, die insbesondere Drucksensoren umfassen können.

- 10 Ein Ausführungsbeispiel einer entsprechenden Druckerhöhung  
ist in dem Diagramm der Figur 4 für das Kältemittel mit der  
Warenbezeichnung „R236fa“ [Firma DuPont] angedeutet. Dabei  
sind in Abszissenrichtung die Temperatur  $T$  des Kältemittels  
in dem Bereich 37 (gemessen in  $^{\circ}\text{C}$ ) und in Ordinatenrichtung  
15 der Druck  $p$  in dem Kältemittel (gemessen in  $\text{bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ) an-  
gegeben. Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, kann mit der  
erfindungsgemäßen Heizungs-  
vorrichtung 38 eine Druckerhöhung/-  
regelung bei  $-40^{\circ}\text{C}$ , der Temperatur des zugeführten flüssigen  
Kältemittels  $k_f$ , von z.B. etwa 0,1 bar auf etwa 1,0 bar bei  
20 dieser Temperatur vorgenommen werden. Eine solche Druckerhö-  
hung wird vorzugsweise dann eingeplant, wenn sich der Rotor 3  
der Maschine 30 im Stillstand befindet und eine Unterkühlung  
des Stators 31 mit Druckabfall in seinem Innenraum 33 zu be-  
fürchten ist. In dem Diagramm beschreibt die Kurve  $p_1$  die  
25 Druckverhältnisse, die sich im Innenraum des Stators ohne zu-  
sätzliche Heizleistung der Heizungs-  
vorrichtung bei Rotor-  
stillstand einstellen würde. Dabei stellt die Kurve  $p_1$  die  
Siedelinie des gewählten Kältemittels dar. Bei eingeschalte-  
ter Heizungs-  
vorrichtung ergeben sich dann die durch die Kurve  
30  $p_2$  veranschaulichten Druckverhältnisse, die eine Anhebung auf  
den Umgebungsdruck um das Statorgehäuse 32 auf z.B. 1 bar er-  
möglichen. Dabei wird zweckmäßig nur soviel zusätzliche Heiz-  
leistung in das Kältemittel erbracht, wie zur Angleichung der  
Druckunterschiede zwischen dem Innendruck des Leitungssystems  
35 und dem Umgebungsdruck erforderlich ist.

Selbstverständlich kann mit der erfindungsgemäßen Heizvorrichtung auch eine zusätzliche Heizleistung bei Rotation des Rotors erbracht werden, falls die von den zu kühlenden Statorteilen im Innenraum verursachte Wärmeerzeugung nicht ausreichen sollten.

Bei der an Hand der Figur 3 dargestellten Ausführungsform der Maschine 30 wurde davon ausgegangen, dass die Heizungs-  
vorrichtung 38 ausschließlich im stirnseitigen Bereich 37 des  
10 Stators 31 befindet. Eine Anordnung dieser Heizungs-  
vorrichtung in diesem Bereich ist zwar als besonders vorteilhaft anzusehen, da dort eine Erwärmung des beim Eintritt in den Stator im Allgemeinen noch flüssigen Kältemittels sowieso erfolgt. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass sich die  
15 Heizungs-  
vorrichtung - in Strömungsrichtung des Kältemittels  
gesehen - von dem stirnseitigen Bereich auch noch in axiale  
Bereiche des Statorinnenraums bzw. des Leitungssystems  
erstreckt, falls sich dort das Kältemittel noch im flüssigen  
Zustand befindet. Gegebenenfalls kann die Heizungs-  
20 vorrichtung 38 aber auch vor dem Eintrittsbereich des flüssigen Kältemittels  $k_f$  in den Stator an der Zuleitung 11 angebracht sein.

Im Allgemeinen wird man eine elektrisch beheizte Vorrichtung 38 unmittelbar an oder in dem Thermosyphon-Leitungssystem  
25 vorsehen. Gegebenenfalls kann aber auch die Heizleistung auf  
andere Weise, z.B. indirekt über einen Wärmetauscher, in das  
Kältemittel eingebracht werden.

## Patentansprüche

1. Elektrische Maschine mit

- einem drehbar gelagerten Rotor,

5 - einem zugeordneten, ortsfesten Stator  
sowie

- einer Einrichtung zur Kühlung zumindest des Stators oder  
Teilen von diesem,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die  
Kühleinrichtung wenigstens eine Kaltfläche (14) einer Kälte-  
einheit aufweist, an die zu kühlende Teile des Stators (5,  
25) über ein Leitungssystem (10, 20) thermisch angekoppelt  
sind, in dem eine Zirkulation eines Kältemittels (k) nach ei-  
nem Thermosyphon-Effekt vorgesehen ist oder erfolgt.

15 2. Maschine nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , dass die Kaltfläche (14) an oder in einem  
Kondensorraum (8, 28) angeordnet ist, der in das Leitungssys-  
tem (10, 20, 35) integriert ist.

20 3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass in das Leitungssystem (10)  
wenigstens ein Kältemittelraum (7) integriert ist, in dem zu  
kühlende Statorteile (5i) in großflächiger wärmeleitender  
25 Verbindung mit dem Kältemittel (k) stehen.

4. Maschine nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , dass der Kältemittelraum der Innenraum  
(33) eines Statorgehäuses (32) ist, in dem zumindest ein  
30 Großteil der zu kühlenden Statorteile (34) angeordnet sind.

5. Maschine nach einem oder mehreren der vorangehenden An-  
sprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die zu kühlenden Statorteile eine Ständerwicklung (34)  
35 und/oder Bleche (5i) eines Blechpaketes (5) umfassen.

6. Maschine nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (25, 31) Kühlkanäle (27, 36) aufweist, die in das Leitungssystem (20, 35) integriert sind.

5

7. Maschine nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Heizungs-  
vorrichtung (38) an dem Leitungssystem (35) in einem Bereich (37), in dem sich das Kältemittel (k) zumindest weitgehend im  
10 flüssigen Zustand ( $k_f$ ) befindet.

15

8. Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Heizungs-  
vorrichtung (38) an oder in dem Leitungssystem (35) zumindest in einem stirnsei-  
tigen Bereich (37) des Stators (31) befindet.

20

9. Maschine nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch eine Steuerung der Heizleistung der Heizungs-  
vorrichtung (38) mittels eines Drucksensors.

25

10. Maschine nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühleinrichtung zusätzlich Strömungswege für eine  
Luftkühlung ( $L_f$ ) aufweist.



## AMENDED CLAIMS

[Received by the International Bureau on 16 December 2003 (16.12.03):  
original claims 1-10 replaced by amended claims 1-6, original claims 7-10 cancelled  
(2 pages)]

1. Elektrische Maschine mit
  - einem drehbar gelagerten Rotor,
  - 5 - einem zugeordneten, ortsfesten Stator sowie
  - einer Einrichtung zur Kühlung zumindest des Stators oder Teilen von diesem,
- 10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kühleinrichtung wenigstens eine Kaltfläche (14) einer Kälteinheit aufweist, an die zu kühlende Teile des Stators (5, 25) über ein geschlossenes Leitungssystem (10, 20) thermisch angekoppelt sind, das im Bereich der zu kühlenden Statorteile (5i) diskrete Kältemittelräume (7, 27) aufweist und in dem
- 15 eine Zirkulation eines Kältemittels (k) nach einem Thermo-syphon-Effekt unter Erwärmung und zumindest teilweiser Verdampfung des Kältemittels (k) im Bereich der zu kühlenden Statorteile (5i) vorgesehen ist oder erfolgt.
- 20 2. Maschine nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kaltfläche (14) an oder in einem Kondensorraum (8, 28) angeordnet ist, der in das Leitungssystem (10, 20) integriert ist.
- 25 3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kältemittelräume (7) mit den zu kühlenden Statorteilen (5i) in großflächiger wärmeleitender Verbindung stehen.
- 30 4. Maschine nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kältemittelräume (7) zwischen Blechen (5i) eines Blechpaketes (5) des Stators ausgebildet sind.
- 35 5. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kältemittelräume als Kühlkanäle (27) ausgebildet sind.

6. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kühlein-  
richtung zusätzlich Strömungswege für eine Luftkühlung (Lf)  
5 aufweist.

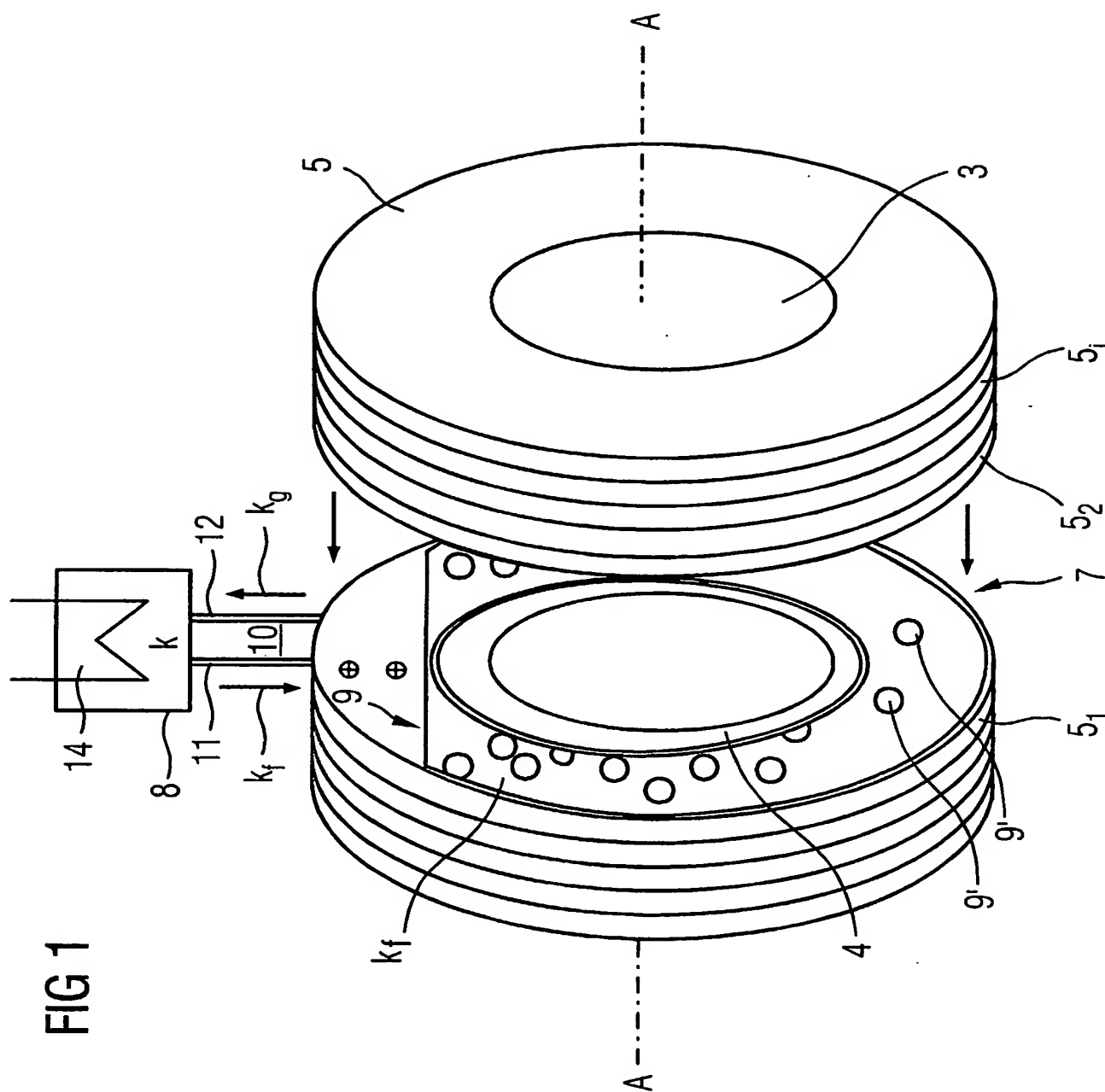


FIG 2

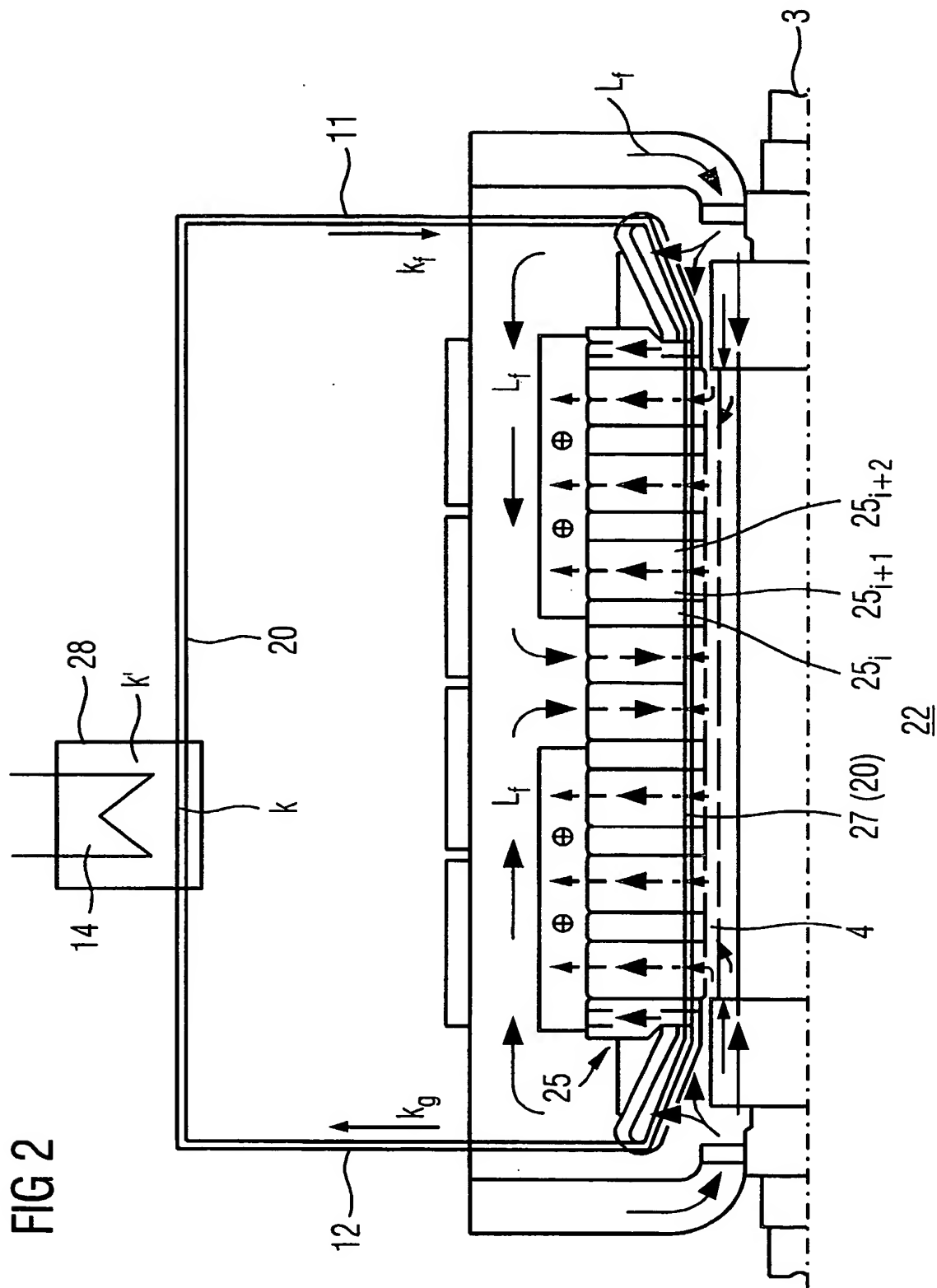


FIG 3

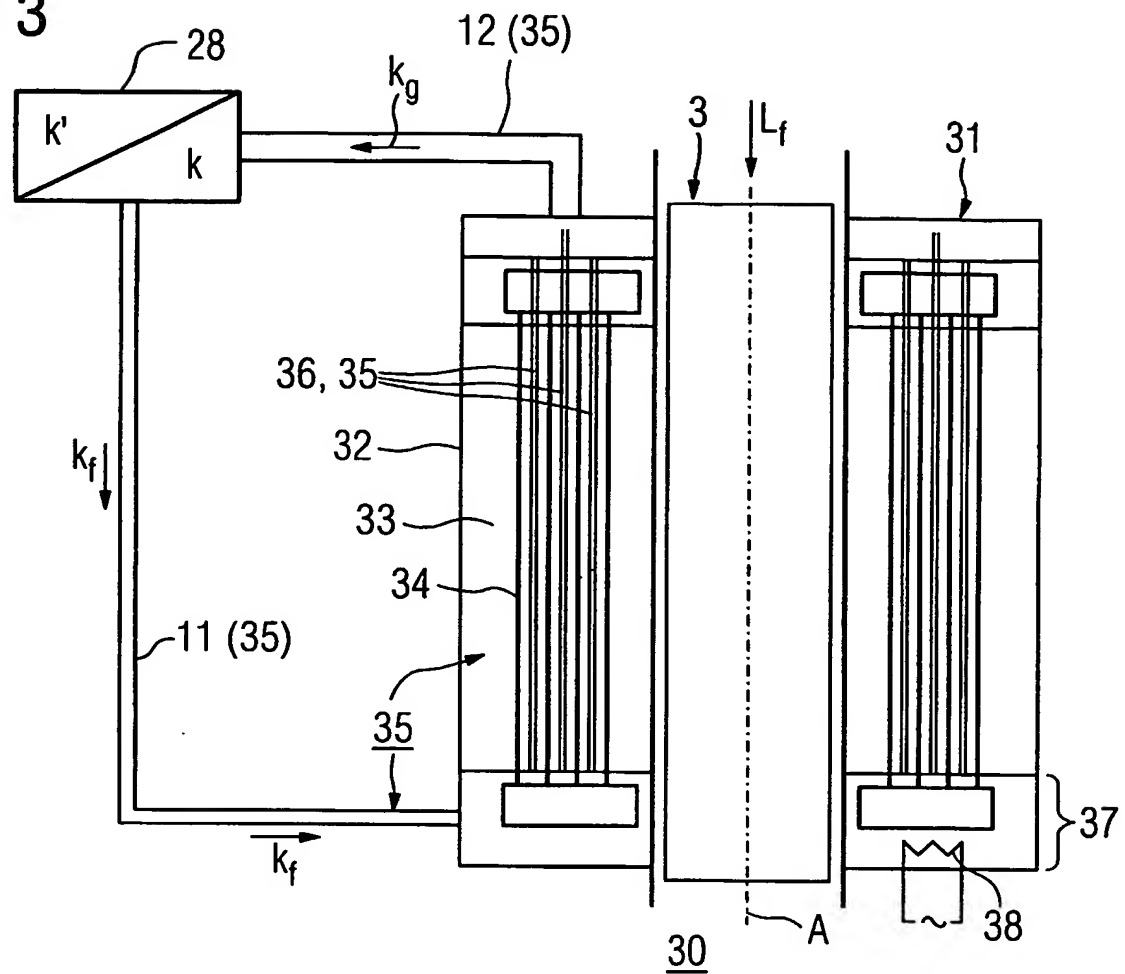
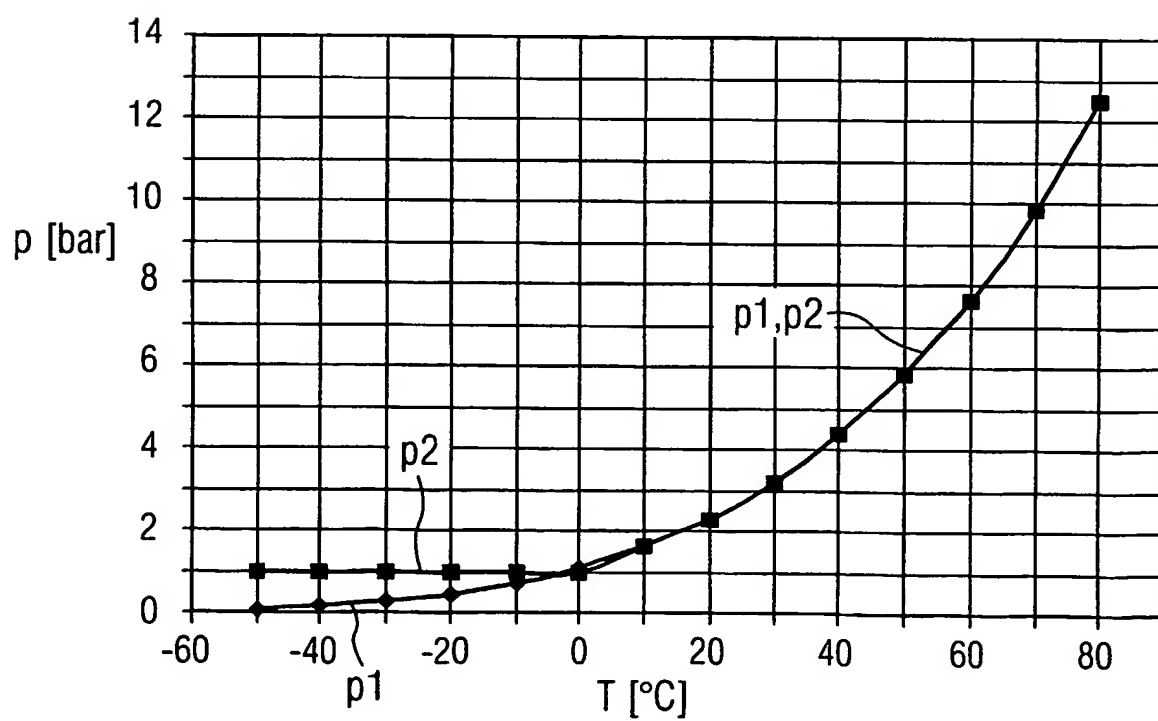


FIG 4



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PC1/03/01705

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 H02K/19 F28D15/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K F28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 30 13 150 A (CUBRAEVA LIDIA IGOREVNA; DANKO VLADIMIR GRIGOREVIC; LJUTYJ BORIS IVANOV) 8 October 1981 (1981-10-08) the whole document ---	1-10
X	GB 1 162 613 A (ALSTHOM) 27 August 1969 (1969-08-27) page 1, line 60 -page 1, line 68 figures ---	1-6
X	EP 0 543 280 A (KLEIN SCHANZLIN & BECKER AG) 26 May 1993 (1993-05-26) abstract column 4, line 15 -column 4, line 18 figure 1 -----	1-6



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 October 2003

Date of mailing of the international search report

17/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ramos, H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/JP93/01705

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3013150	A	08-10-1981	DE 3013150 A1	08-10-1981
GB 1162613	A	27-08-1969	CH 450532 A	31-01-1968
			CH 450536 A	31-01-1968
			DE 1613402 A1	14-01-1971
			SE 335576 B	01-06-1971
EP 0543280	A	26-05-1993	DE 4138268 A1	27-05-1993
			DE 59206555 D1	18-07-1996
			EP 0543280 A2	26-05-1993

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/3/01705

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSSTANDES  
 IPK 7 H02K9/19 F28D15/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02K F28D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 30 13 150 A (CUBRAEVA LIDIA IGOREVNA; DANKO VLADIMIR GRIGOREVIC; LJUTYJ BORIS IVANOV) 8. Oktober 1981 (1981-10-08) das ganze Dokument	1-10
X	GB 1 162 613 A (ALSTHOM) 27. August 1969 (1969-08-27) Seite 1, Zeile 60 -Seite 1, Zeile 68 Abbildungen	1-6
X	EP 0 543 280 A (KLEIN SCHANZLIN & BECKER AG) 26. Mai 1993 (1993-05-26) Zusammenfassung Spalte 4, Zeile 15 -Spalte 4, Zeile 18 Abbildung 1	1-6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Oktober 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

17/10/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ramos, H



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, und zu welchen Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/D 8/01705

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 3013150	A	08-10-1981	DE	3013150 A1	08-10-1981
GB 1162613	A	27-08-1969	CH	450532 A	31-01-1968
			CH	450536 A	31-01-1968
			DE	1613402 A1	14-01-1971
			SE	335576 B	01-06-1971
EP 0543280	A	26-05-1993	DE	4138268 A1	27-05-1993
			DE	59206555 D1	18-07-1996
			EP	0543280 A2	26-05-1993

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**